

Удосконалення методу запобігання виникненню надзвичайних ситуацій місцевого рівня за результатами моніторингу акустичного простору

Improving the Method of Preventing Local Emergencies Based on the Results of Acoustic Space Monitoring

Вадим Тютюник ^A

Corresponding author: д.тех.н., професор, e-mail: tutunik.vadim.72@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5394-6367

Дмитро Усачов ^A

ад'юнкт, e-mail: usachovrabortadsns21@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1140-9798

Vadym Tiutiunyk ^A

Corresponding author: Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: tutunik.vadim.72@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0243-7519

Dmytro Usachov ^A

PhD student, e-mail: usachovrabortadsns21@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1140-9798

^A Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, Україна

^A National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkov, Ukraine

Received: March 12, 2025 | Revised: April 23, 2025 | Accepted: April 30, 2025

DOI: 10.33445/sds.2025.15.2.12

Мета роботи: удосконалення процесу запобігання виникненню надзвичайних ситуацій місцевого рівня, шляхом впровадження акустичного моніторингу для виявлення та ідентифікації на території міст їх джерел.

Метод дослідження: методи аналізу та синтезу акустичних сигналів; методи системного аналізу.

Теоретична цінність дослідження: проведені дослідження можливостей акустичного методу для ідентифікації джерел надзвичайних ситуацій місцевого рівня, які пов'язані з масштабними пожежами рідких органічних речовин, застосуванням вогнепальної зброї та безпілотних літальних апаратів. Результати виконаних експериментів укладаються в довірчі інтервали, розраховані за критерієм Стюдента з надійністю 0,95, та свідчать про відповідний рівень достовірності та надійності акустичного методу щодо виявлення та ідентифікації джерел надзвичайних ситуацій місцевого рівня.

Практична цінність дослідження: розроблено керуючий алгоритм методу запобігання виникненню надзвичайних ситуацій місцевого рівня за умов функціонування міської системи оперативного акустичного моніторингу небезпечних подій в місті і прогнозування надзвичайних ситуацій місцевого рівня, який передбачає виконання п'яти процедур: 1) моніторинг акустичного простору міста (за допомогою системи наземних автоматизованих пристроїв акустичного контролю та пасивної локації джерел небезпек) та аналіз прийнятого акустичного сигналу (шляхом фільтрації шумів та частотного аналізу «корисного» сигналу); 2) виявлення та ідентифікації небезпечної події (шляхом порівняння амплітудно-частотних характеристик прийнятого акустичного сигналу з даними банку даних та знань характеристик акустичних сигналів від відомих небезпечних подій); 3) моделювання та аналіз загрози виникнення надзвичайних ситуацій місцевого рівня; 4) ухвалення рішень щодо недопущення розвитку небезпечної події на території міста до надзвичайної ситуації місцевого рівня; 5) координація дій відповідних служб міста.

Тип статті: теоретичний, практичний.

Purpose: improving the process of preventing local emergencies by implementing acoustic monitoring to detect and identify their sources in urban areas.

Method: methods of analysis and synthesis of acoustic signals; systems analysis methods.

Theoretical implications: conducted studies of the possibilities of the acoustic method for identifying sources of local emergencies associated with large-scale fires of liquid organic substances, the use of firearms and unmanned aerial vehicles. The results of the experiments performed fit into confidence intervals calculated using the Student's t-test with a reliability of 0.95, and indicate an appropriate level of reliability and validity of the acoustic method for detecting and identifying sources of local emergency situations.

Practical implications: a control algorithm has been developed for a method aimed at preventing the occurrence of local-level emergencies under the functioning of the urban system of operational acoustic monitoring of hazardous events and forecasting local-level emergencies. The algorithm involves the execution of five procedures: 1) monitoring the city's acoustic environment (using a system of ground-based automated acoustic control and passive hazard source localization devices) and analyzing the received acoustic signal (through noise filtering and frequency analysis of the "useful" signal); 2) detection and identification of a hazardous event (by comparing the amplitude-frequency characteristics of the received acoustic signal with data from a database and knowledge base containing acoustic signal characteristics of known hazardous events); 3) modeling and analysis of the threat of a local-level emergency; 4) decision-making to prevent the escalation of a hazardous event into a local-level emergency within the city; 5) coordination of actions of the relevant city services.

Paper type: theoretical, practical.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, моніторинг надзвичайних ситуацій, обробка акустичних сигналів, моделювання, підтримка прийняття рішень.

Key words: emergency, emergency prevention, emergency monitoring, acoustic signal processing, modeling, decision support.

Вступ

Сучасні міста України являють собою складні системи з рознесеними у просторі та часі параметрами життєдіяльності, які у процесі свого функціонування та розвитку створюють передумови для виникнення надзвичайних ситуацій (НС), що негативно впливають на стан соціально-психологічного, природно-екологічного та економіко-технічного балансу на території міста. Це свідчить про необхідність розробки комплексу ефективних правових, соціально-економічних, політичних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, спрямованих на запобігання виникненню НС місцевого рівня, шляхом недопущення переростання небезпечних подій, які виникають на території міста, у НС місцевого рівня або пом'якшення їх можливих наслідків. Умови реалізації заходів запобігання виникненню НС місцевого рівня, при виникненні на території міста різного роду небезпечних подій, представлені на рис. 1.



Рисунок 1 – Представлення умов реалізації заходів запобігання виникненню НС місцевого рівня, при виникненні на території міста різного роду небезпечних подій

Згідно даних рис. 1, запобігання виникненню НС місцевого рівня включає реалізацію на окремій території наступних заходів: державне регулювання діяльності суб'єктів господарювання у сфері цивільного захисту та управління ризиками виникнення НС техногенного характеру та пожеж; забезпечення техногенної безпеки; забезпечення пожежної безпеки; державний нагляд (контроль) у сфері техногенної та пожежної безпеки.

При цьому, державне регулювання діяльності суб'єктів господарювання у сфері цивільного захисту здійснюється шляхом: проведення експертизи проектів містобудівної документації та проектів будівництва; ліцензування послуг і виконання робіт протипожежного призначення; технічного регулювання у визначеній сфері відповідальності; державного ринкового нагляду щодо засобів цивільного захисту; державного нагляду (контролю) у сфері пожежної та техногенної безпеки; страхування відповідальності; моніторингу і прогнозування НС.

Ефективна реалізація цих заходів не можлива без даних моніторингу, експертизи, досліджень та прогнозів щодо можливого виникнення та перебігу різного роду небезпечних подій на території міста. Згідно з Кодексом цивільного захисту України, моніторинг НС є системою безперервних спостережень, лабораторного та іншого контролю для оцінки стану захисту населення і територій та небезпечних процесів, які можуть призвести до загрози або виникнення НС, а також своєчасне виявлення тенденцій до їх зміни. Спостереження, лабораторний та інший контроль включають збирання, опрацювання і передавання інформації про стан навколишнього природного середовища, забруднення продуктів харчування, продовольчої сировини, фуражу, води радіоактивними та хімічними речовинами, зараження збудниками інфекційних хвороб та іншими небезпечними біологічними агентами. Для проведення моніторингу і прогнозування НС в Україні створюється та функціонує система моніторингу і прогнозування НС [1].

Ці обставини указують на необхідність інтегрування в систему безпеки міста додаткових автоматизованих датчиків контролю різного роду джерел небезпек, які працюють на різних фізико-хімічних принципах. Розробка такої системи моніторингу джерел НС дозволить об'єднати функції спостереження та обробки інформації про джерела небезпеки, а також функції прогнозування виникнення на території міста НС різного характеру, з подальшою розробкою ефективних рішень щодо управління службами безпеки та комунальними службами міста [2].

Одним із напрямків раннього виявлення на території міста джерел НС різного характеру є контроль акустичного простору міста за допомогою наземних стаціонарних автоматичних аналізаторів сигналів у акустичному діапазоні [3]. Це і обумовило мету наших досліджень.

Теоретичні основи дослідження

Реалізація спектрального аналізу акустичного простору міста досягається тим, що безперервний та тривалий у реальному масштабі часу оперативний моніторинг за територією міста здійснюється за рахунок об'єднання у систему моніторингу наземних автоматизованих пристроїв контролю акустичного простору та пасивної локації джерел небезпек, а також отримання й обробки інформації від наземних пристроїв акустичного контролю ситуаційним центром, функціонування якого пов'язано з системою виконання антикризових рішень щодо запобігання, локалізації та ліквідації наслідків НС [4].

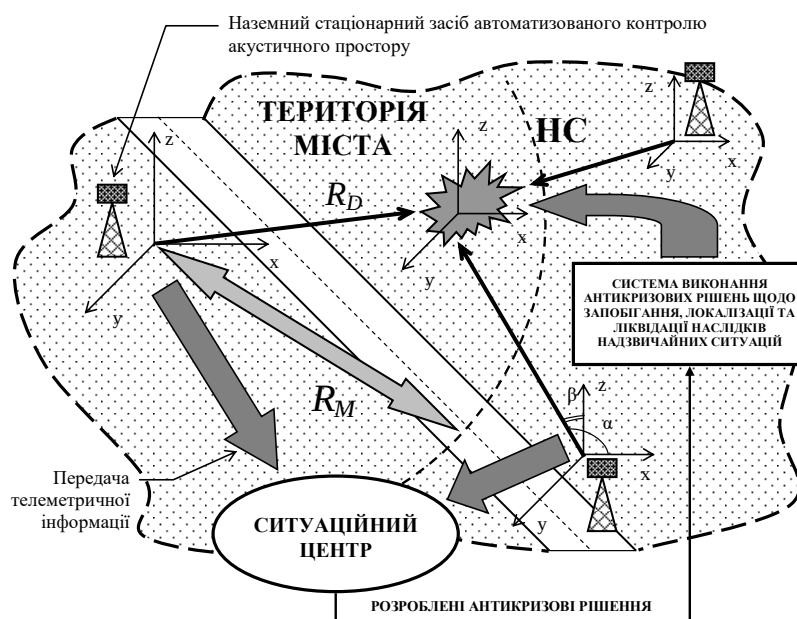


Рисунок 2 – Схема функціонування системи наземних стаціонарних засобів автоматизованого контролю акустичного простору на території міста, ситуаційного центру, підсистеми зв'язку та передавання телеметричної інформації, а також підсистеми виконання антикризових рішень щодо запобігання, локалізації та ліквідації наслідків НС різного характеру на території міста

Методи пасивної акустичної локації джерел небезпек мають свої специфічні особливості, а саме: в умовах відсутності інформації про тривалість акустичного випромінювання дальність до джерела випромінювання не можливо визначити за даними прийому тільки одного наземного засобу автоматизовано контролю акустичного простору. У зв'язку з цим, для визначення координат джерела небезпеки необхідно застосовувати

комплекс двох або декількох рознесених у просторі засобів автоматизовано контролю акустичного простору, які з'єднані каналами зв'язку та утворюють комп'ютерну мережу; прийом прямого, а не відбитого сигналу, полегшує виявлення і вимір координат джерела небезпеки, але незнання форми сигналу та наявність інших джерел акустичного випромінювання ускладнює процес оперативного моніторингу за зоною НС; відсутність передавальних пристроїв при пасивній локації спрощує апаратуру, а також підвищує її енергозбереження та скритність.

Функціональну схему цієї системи наземних стаціонарних засобів автоматизованого контролю акустичного простору, ситуаційного центру, підсистеми зв'язку та передачі телеметричної інформації, а також підсистеми виконання антикризових рішень щодо запобігання, локалізації та ліквідації наслідків НС, представлено на рис. 2.

Функціонування розробленої підсистеми оперативного акустичного моніторингу зони НС на території міста повинно здійснюватися у складі функціонуючої в Україні єдиної державної системи цивільного захисту (ЄДСЦЗ) та в межах класичного контуру управління, який забезпечує: 1) збір, обробку та аналіз інформації; 2) моделювання НС різного характеру на території міста; 3) розробку та ухвалення (в рамках ситуаційного центру) управлінських рішень щодо запобігання, локалізації та ліквідації НС різного характеру, а також мінімізації їх наслідків; 4) виконання рішень щодо запобігання, локалізації та ліквідації НС, а також мінімізації їх наслідків [5].

Основним показником ефективності функціонування підсистеми оперативного акустичного моніторингу зони НС на території міста є достовірність ідентифікації джерела небезпеки за видом та місцем виникнення.

Постановка проблеми

Перспективою для держави є створення геоінформаційної системи акустичного моніторингу джерел небезпек, як інструменту проведення високоточних вимірювань в реальних умовах експлуатації для надійного функціонування єдиної мережі ситуаційних центрів при розробці управлінських рішень щодо запобігання виникненню НС місцевого рівня.

Методологія дослідження

Для оцінки особливостей застосування наземних стаціонарних автоматичних аналізаторів сигналів у акустичному діапазоні для проведення моніторингу НС місцевого рівня в роботі проведені експериментальні дослідження можливостей акустичного методу для ідентифікації джерел небезпек, які пов'язані з масштабними пожежами рідких органічних речовин (РОР), застосуванням вогнепальної зброї та безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

Для цієї цілі розроблено вимірювальну схему (рис. 3), з багатомірною обробкою експериментальних даних шляхом поєднаного використання спектрального, фрактального, кластерного і вейвлет аналізів амплітудно-часових характеристик прийнятих акустичних сигналів від небезпечних подій.



Рисунок 3 – Концепція проведення лабораторних досліджень можливостей акустичного методу щодо ідентифікації джерел НС місцевого рівня

За результатами дослідження можливостей акустичного методу щодо ідентифікації джерел НС, пов'язаних з масштабними пожежами РОР, встановлено, що динаміка процесу

високотемпературного окиснення (горіння), тобто залежності кількості максимумів амплітудно-часових та амплітудно-частотних характеристик прийнятого акустичного сигналу при ефекті акустичної емісії, визначається фізичними та фізико-хімічними термодинамічними параметрами процесу. Досліджено ефект “спалаху”, тобто час первинного процесу горіння парів POP, та встановлено однозначну залежність тривалості даного процесу від парціального тиску парів над чистим розчинником та температурою спалаху або займання. Встановлено, що чим більше парціальний тиск парів і менше температурою спалаху (займання), тим менше час «спалаху», тобто тривалість горіння парів органічних речовин [6].

Встановлено, що незалежно від природи досліджених органічних речовин значення показників Херста і фрактальної розмірності залишаються постійними для дослідженого ряду легкозаймистих рідин. При цьому встановлено тенденцію підвищення показника Херста і відповідно зниження показника фрактальної розмірності для ізомерів спиртів. Практична сталість параметрів Херста і фрактальної розмірності для органічних речовин з лінійною та ізомерною структурою C-каркасів молекул органічних речовин свідчить про відповідний рівень достовірності та надійності отриманих результатів щодо обробки акустичних сигналів при ефекті акустичної емісії реакції високотемпературного окиснення (горіння) деяких органічних речовин, що дозволяє зменшити ступінь помилкових спрацьовувань акустичного пристрою виявлення на території міста джерел масштабних пожеж та встановлення природи пального матеріалу в осередку займання [7].

За результатами дослідження можливостей акустичного методу щодо ідентифікації джерел НС, пов'язаних із застосуванням різних типів вогнепальної зброї, удосконалено метод ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за параметрами та характеристиками акустичних спектрів пострілів. Застосування удосконаленого методу для дослідження характеристик акустичних спектрів пострілів з пістолету Макарова калібру 9 мм, травматичного пістолету “Форт-14Р” та автомату АК-74 калібру 5,45 мм дозволило з ймовірністю 95 % ідентифікувати тип вогнепальної зброї за прийнятим акустичним сигналом. Розроблено функціональну схему ідентифікації фактів застосування різних типів вогнепальної зброї за спектральними властивостями прийнятого акустичного сигналу [8].

За результатами дослідження можливостей акустичного методу щодо ідентифікації джерел НС, пов'язаних із застосуванням БПЛА, удосконалено метод автоматичного виявлення БПЛА та визначення їх типів на основі акустичних сигналів, який поєднує кластерний аналіз і вейвлет-аналіз. Застосування удосконаленого методу для трьох експериментальних моделей БПЛА – Alpha Robotics Hummingbird 1000 SRTK, DJI Mavic 3t та FPV 7inch ProDrone дозволило з ймовірністю до 90 % точно ідентифікувати тип БПЛА за їх акустичним сигналом. Розроблено алгоритм виявлення та ідентифікації за амплітудно-частотними характеристиками акустичних сигналів БПЛА, який базується на методі вейвлет-аналізу, який дозволяє отримувати інформацію як про частотний, так і про часовий інтервал акустичного сигналу, що дає можливість виділяти характерні особливості спектру БПЛА [9].

Результати виконаних експериментів укладаються в довірчі інтервали, розраховані за критерієм Стюдента з надійністю 0,95, та свідчать про відповідний рівень достовірності та надійності акустичного методу щодо виявлення та ідентифікації джерел НС місцевого рівня, як інструменту для отримання інформації при розробці управлінських рішень щодо запобігання виникненню НС місцевого рівня.

Результати

При розробці керуючого алгоритму запобігання виникненню НС місцевого рівня за результатами моніторингу акустичного простору в роботі дотримані принципи поетапності дій відповідних етапів системи безпеки міста та її зворотних зв'язків. При цьому за кожний

окремий етап відповідають різні служби та виконавці, однак їх взаємодія координується загальним координаційним центром.

Структура керуючого алгоритму запобігання виникненню НС місцевого рівня за результатами моніторингу акустичного простору складається із п'яти етапів (рис. 4).

Першим етапом алгоритму є проведення моніторингу акустичного простору міста, як потенційної зони НС, що передбачає реєстрацію потенційно небезпечної події на території міста. Моніторинг здійснюється за допомогою розподілених акустичних датчиків, які фіксують амплітудо-частотні характеристики звукових сигналів в реальному часі. Ці пристрої розміщуються у просторі як горизонтально (в різних географічних точках), так і вертикально (на певних висотах).

Моніторинг акустичного простору міста є основною складовою системи запобігання НС місцевого рівня. Завдяки сучасним технологіям, система моніторингу працює у режимі реального часу, безперервно збираючи та обробляючи акустичні дані. Первинна обробка інформації може здійснюватися як у централізованому місці, так і розподілено – залежно від характеристик системи моніторингу та властивостей міста, де функціонує система безпеки міста. Отримані дані аналізуються та систематизуються для оцінки рівня небезпеки на території міста. Автоматизовані засоби обробки інформації пришвидшують цей процес і дозволяють створювати електронні бази даних у режимі реального часу.

Другим етапом алгоритму є ідентифікації небезпечної події. Отримана засобами контролю первинна інформація передається до центру інформаційних технологій, де отримані акустичні дані проходять аналіз із використанням штучного інтелекту та алгоритмів обробки сигналів. Програмні модулі порівнюють прийняті амплітудо-частотні характеристики звукових сигналів з базою даних, що дозволяє ідентифікувати джерело небезпечної події за «корисним» акустичним сигналом на фоні шуму.

Третій етап алгоритму – моделювання та аналіз загрози виникнення НС місцевого рівня, що є критичною фазою у запобіганні НС. На цьому етапі використовується поєднання аналітичних методів та комп'ютерного моделювання для оцінки ймовірності розвитку події. Головна мета цього процесу – визначити потенційні сценарії розвитку НС, оцінити їхні наслідки та розробити відповідні заходи у ході ймовірного реагування.

Четвертим етапом алгоритму є ухвалення рішень щодо недопущення розвитку небезпечної події на території міста до НС місцевого рівня. Так, оцінка ризиків визначає рівень загрози для населення та КІ міста, що дає змогу ухвалювати своєчасні рішення щодо запобігання або мінімізації наслідків подій на території міста. Ці рішення ухвалюються в процесі функціонування в місті ситуаційного центру. Перспективи створення таких центрів обумовлено рішенням Ради національної безпеки і оборони України, яка вирішила розширити та у подальшому розвинути єдину мережу ситуаційних центрів, до складу якої мають входити Головний ситуаційний центр України, Урядовий ситуаційний центр, ситуаційні центри органів сектору безпеки і оборони, ситуаційні центри центральних органів виконавчої влади, Ради міністрів Автономної Республіки Крим, обласних, Київської та Севастопольської міських державних адміністрацій, а також резервні та рухомі ситуаційні центри [10].

Експерти ситуаційного центру, що приймають рішення, задають критерії для прогнозування розвитку НС місцевого рівня та формування варіантів рішень на основі відповідних розрахунків. Після аналізу запропонованих варіантів особа, відповідальна за прийняття рішення, може обрати оптимальний варіант або скоригувати критерії для уточнення прогнозу. Метою таких рішень є запобігти ескалації небезпеки або, якщо катастрофа неминуча, мінімізувати її наслідки. Затверджене рішення передається до системи виконання, яка формалізує його та доводить до виконавців, що безпосередньо впливають на джерела небезпек в місті.

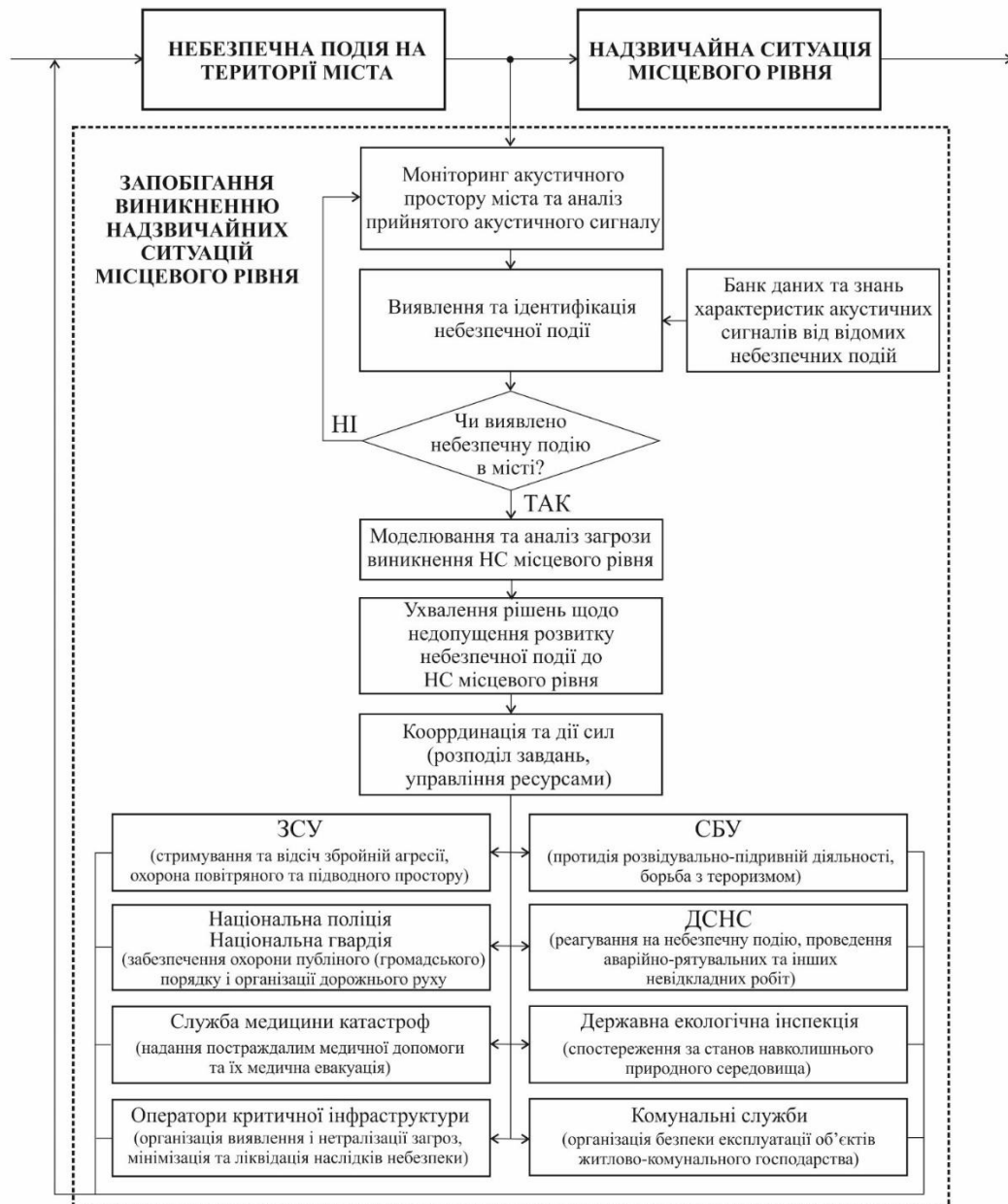


Рисунок 4 – Керуючий алгоритм запобігання виникненню НС місцевого рівня за результатами моніторингу акустичного простору

Координація дій відповідних служб міста є завершальним (п'ятим) етапом алгоритму запобігання виникненню НС місцевого рівня за результатами моніторингу акустичного простору. Вона передбачає чітку взаємодію між різними службами для ефективного розподілу завдань і ресурсів. Автоматизована система оповіщення негайно передає інформацію про потенційну загрозу відповідним службам. Якщо аналіз показує, що подія має високий ризик ескалації до НС місцевого рівня, активуються відповідні служби та відбувається розподіл обов'язків між ними для забезпечення оперативного реагування та координації дій [11].

Основні служби міста об'єднують підрозділи Збройних Сил України, Служби безпеки України, Міністерства внутрішніх справ України, Національна гвардія України, Національна поліція України, Державної служба України з НС, Державної служби медицини катастроф, Державної екологічної інспекції, оператори критичної інфраструктури та комунальні служби, функції яких взаємопов'язані у мирний час, а також в особливий період, у тому числі в умовах воєнного стану, в умовах НС та під час виникнення кризових ситуацій [12].

Збройні Сили України (ЗСУ) є військовим формуванням, на яке відповідно до Конституції України покладаються оборона України, захист її суверенітету, територіальної цілісності та недоторканності. ЗСУ забезпечують стримування та відсіч збройній агресії проти України, охорону повітряного простору держави та підводного простору в межах територіального моря України, у випадках, визначених законом, беруть участь у заходах, спрямованих на боротьбу з тероризмом [13].

Служба безпеки України (СБУ) є державним органом спеціального призначення з правоохоронними функціями, що забезпечує державну безпеку, здійснюючи з неухильним дотриманням прав і свобод людини і громадянина: протидію розвідувально-підбивній діяльності проти України; боротьбу з тероризмом; контррозвідувальний захист державного суверенітету, конституційного ладу і територіальної цілісності, оборонного і науково-технічного потенціалу, кібербезпеки, економічної та інформаційної безпеки держави, ОКИ; охорону державної таємниці [14].

Національна поліція України є центральним органом виконавчої влади, що забезпечує громадську безпеку і порядок, охорону прав і свобод людини, інтересів суспільства і держави, протидію злочинності, а також надає визначені законом послуги з допомоги особам, які з особистих, економічних, соціальних причин або внаслідок НС потребують такої допомоги [15].

Національна гвардія України є військовим формуванням із правоохоронними функціями, призначеним для виконання завдань із захисту та охорони життя, прав, свобод і законних інтересів громадян, суспільства і держави від злочинних та інших протиправних посягань, охорони громадського порядку та забезпечення громадської безпеки, а також у взаємодії з іншими органами – із забезпечення державної безпеки і захисту державного кордону України, припинення терористичної діяльності, діяльності незаконних воєнізованих або збройних формувань, організованих злочинних груп та організацій [16].

ДСНС є центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сферах ЦЗ, захисту населення і територій від НС, запобігання їх виникненню, ліквідації наслідків НС, проведення аварійно-рятувальних робіт, пожежогасіння, пожежної та техногенної безпеки, роботи рятувальних служб під час аварій, а також гідрометеорологічної діяльності [17].

Державна служба медицини катастроф є особливим видом державної аварійно-рятувальної служби, основним завданням якої є надання безоплатної медичної допомоги постраждалим від НС техногенного та природного характеру, рятувальникам та особам, які беруть участь у ліквідації наслідків НС.

Не менш важливу роль відіграють оператори критичної інфраструктури – юридичні особи будь-якої форми власності та/або фізичні особи – підприємці, що на правах власності, оренди або на інших законних підставах здійснює управління об'єктів критичної інфраструктури (ОКИ) та відповідає за його поточне функціонування. При цьому, охороною ОКИ є комплекс режимних, інженерних, інженерно-технічних та інших заходів (крім заходів із захисту інформації та кіберзахисту ОКИ), які організовуються і проводяться суб'єктами національної системи захисту КІ з метою запобігання та/або недопущення чи припинення протиправних дій (актів несанкціонованого втручання) на ОКИ [18].

Допоміжну функцію виконують комунальні служби, які контролюють безпеку житлово-комунального господарства, здійснюють ремонтні роботи та забезпечують функціонування систем водопостачання, каналізації, тепlopостачання та електропостачання у разі НС [19].

Таким чином, в процесі виконання службами міста функцій щодо запобігання виникненню НС місцевого рівня впливають на джерела небезпек, які виникли на території міста. Зміни стану функціонування міста та зміни стану небезпеки в ньому викликать зміни у величинах вимірюваних параметрів, що фіксуються пристроями акустичного

контролю. Надалі ці зміни будуть відпрацьовані, а подальше моделювання покаже ефективність виконання прийнятого рішення – алгоритм замкнувся.

Висновки

В роботі набув подальшого розвитку метод запобігання виникненню НС місцевого рівня за результатами експериментальних досліджень можливостей спектрального аналізу акустичного простору щодо виявлення та ідентифікації небезпечних подій на території міст. До керуючого алгоритму реалізації цього методу включено виконання п'яти процедур: 1) моніторинг акустичного простору міста (за допомогою системи наземних автоматизованих пристроїв акустичного контролю та пасивної локації джерел небезпек) та аналіз прийнятого акустичного сигналу (шляхом фільтрації шумів та частотного аналізу «корисного» сигналу); 2) виявлення та ідентифікації небезпечної події (шляхом порівняння амплітудно-частотних характеристик прийнятого акустичного сигналу з даними банку даних та знань характеристик акустичних сигналів від відомих небезпечних подій); 3) моделювання та аналіз загрози виникнення НС місцевого рівня; 4) ухвалення рішень щодо недопущення розвитку небезпечної події на території міста до НС місцевого рівня; 5) координація дій відповідних служб міста.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Кодекс цивільного захисту України: Закон України від 02 жовтня 2012 року № 5403-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>
2. Андронов В.А., Дівізінюк М.М., Калугін В.Д., Тютюник В.В. Науково-конструкторські основи створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні: Монографія. Харків. Національний університет цивільного захисту України, 2016. 319 с. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5970>
3. Тютюник В.В., Тютюник О.О., Усачов Д.В. Особливості створення системи акустичного моніторингу джерел надзвичайних ситуацій у контексті розвитку концепції «Smart City». Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. 2023. № 2(16). С. 58–76. URL: <https://doi.org/10.33269/nvcz.2023.2.58-76>.
<http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/19263>
4. Рубан І.В., Тютюник В.В., Тютюник О.О. Розвиток науково-технічних основ оперативного геоінформаційного акустичного моніторингу джерел терористичних небезпек. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. Київ: Національний університет оборони України, 2020. Вип. 3(39). С. 67–80. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2020-39-3-67-80>. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/18114>
5. Рубан І.В., Тютюник В.В., Тютюник О.О. Особливості створення системи підтримки прийняття антикризових рішень в умовах невизначеності вхідної інформації при надзвичайних ситуаціях. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. Київ. Національний університет оборони України. 2021. Вип. 1(40). С. 75–84. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/14232>
6. Tiutiunyk V., Kalugin V., Levterov A., Sydorenko O., Starodubtsev S., Usachov D. Establishing the Nature of Kinetic Effects of the High-Temperature Oxidation (Combustion) Process of Some

- Liquid Organic Matters by Acoustic Radiation. Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii. 2023. No. 6. pp. 203–212. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2023-151-6-203-212>.
7. Тютюник В.В., Левтеров О.А., Тютюник О.О., Усачов Д.В. Розвиток науково-технічних основ створення геоінформаційної системи акустичного моніторингу масштабних пожеж із рідкими органічними речовинами на території міста. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2024. № 1(49). С. 111–127. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2024-49-1-111-127>
8. Тютюник В.В., Левтеров О.А., Тютюник О.О., Усачов Д.В. (2024). Акустичний моніторинг джерел надзвичайних ситуацій, пов'язаних із застосуванням вогнепальної зброї. Проблеми надзвичайних ситуацій, 2(40), 269–292. <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2024-40-19>
9. Тютюник В.В., Левтеров О.А., Тютюник О.О., Усачов Д.В. Розвиток науково-технічних основ акустичного моніторингу джерел надзвичайних ситуацій, які пов'язані із застосуванням вогнепальної зброї. Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків, 2024. Вип. 2(40). С. 269–292. <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2024-40-19>. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/24173>
10. Щодо удосконалення мережі ситуаційних центрів та цифрової трансформації сфери національної безпеки і оборони: Рішення Ради національної безпеки і оборони України від 04.06.2021. Введено в дію Указом Президента України від 18 червня 2021 року № 260/2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0039525-21#Text>
11. Про схвалення Концепції розвитку та технічної модернізації системи централізованого оповіщення про загрозу виникнення або виникнення надзвичайних ситуацій: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 31 січня 2018 року № 43-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/43-2018-%D1%80>
12. Про затвердження Інструкції про порядок взаємодії між Державною службою України з надзвичайних ситуацій, Національною поліцією України та Національною гвардією України у сфері запобігання і реагування на надзвичайні ситуації, пожежі та небезпечні події: Наказ Міністерства внутрішніх справ України від 22 серпня 2016 року № 859. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 14 вересня 2016 року за № 1254/29384. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1254-16#Text>
13. Про Збройні Сили України: Закон України від 06 грудня 1991 року № 1934-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1934-12#Text>
14. Про Службу безпеки України: Закон України від 25 березня 1992 року № 2229-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2229-12#Text>
15. Про Національну поліцію: Закон України від 02 липня 2015 року № 580-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/580-19#Text>
16. Про Національну гвардію України: Закон України від 13 березня 2014 року № 876-VII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/876-18#Text>
17. Про затвердження Положення про Державну службу України з надзвичайних ситуацій: Постанова Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2015 року № 1052. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1052-2015-%D0%BF#Text>
18. Про критичну інфраструктуру: Закон України від 16 листопада 2021 року № 1882-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#top>
19. Про затвердження типового положення про регіональну та місцеву комісію з питань техногенно-екологічної безпеки і надзвичайних ситуацій: Постанова Кабінету Міністрів України від 17 червня 2015 року № 409. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/409-2015-%D0%BF>

References

1. Civil Protection Code of Ukraine: Law of Ukraine dated October 2, 2012, No. 5403-VI. Retrieved from : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>
2. Andronov, V. A., Divilinyuk, M. M., Kalugin, V. D., & Tiutiunyk, V. V. (2016). *Scientific and design principles of creating a comprehensive emergency monitoring system in Ukraine: Monograph*. Kharkiv: National University of Civil Protection of Ukraine. Retrieved from : <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5970>
3. Tiutiunyk, V. V., Tiutiunyk, O. O., & Usachov, D. V. (2023). Features of establishing an acoustic monitoring system for emergency sources in the context of "Smart City" development. *Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety*, 2(16), 58–76. <https://doi.org/10.33269/nvcz.2023.2.58-76> Retrieved from : <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/19263>
4. Ruban, I. V., Tiutiunyk, V. V., & Tiutiunyk, O. O. (2020). Development of scientific and technical principles of operational geo-information acoustic monitoring of terrorist threat sources. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defense*, 3(39), 67–80. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2020-39-3-67-80> Retrieved from : <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/18114>
5. Ruban, I. V., Tiutiunyk, V. V., & Tiutiunyk, O. O. (2021). Features of developing a decision support system for crisis management under uncertainty of incoming information during emergencies. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defense*, 1(40), 75–84. Retrieved from : <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/14232>
6. Tiutiunyk, V., Kalugin, V., Levterov, A., Sydorenko, O., Starodubtsev, S., & Usachov, D. (2023). Establishing the nature of kinetic effects of the high-temperature oxidation (combustion) process of some liquid organic matters by acoustic radiation. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, (6), 203–212. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2023-151-6-203-212>
7. Tiutiunyk, V. V., Levterov, O. A., Tiutiunyk, O. O., & Usachov, D. V. (2024). Development of scientific and technical foundations of a geo-information system for acoustic monitoring of large fires involving liquid organic substances in urban areas. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defense*, 1(49), 111–127. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2024-49-1-111-127>
8. Tiutiunyk, V. V., Levterov, O. A., Tiutiunyk, O. O., & Usachov, D. V. (2024). Acoustic monitoring of emergency sources associated with the use of firearms. *Problems of Emergencies*, 2(40), 269–292. <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2024-40-19>
9. Tiutiunyk, V. V., Levterov, O. A., Tiutiunyk, O. O., & Usachov, D. V. (2024). Development of scientific and technical principles for acoustic monitoring of emergency sources related to firearm usage. *Problems of Emergencies*, 2(40), 269–292. <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2024-40-19> Retrieved from : <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/24173>
10. On improving the network of situational centers and digital transformation in the sphere of national security and defense: Decision of the National Security and Defense Council of Ukraine dated June 4, 2021. Enforced by Presidential Decree No. 260/2021 dated June 18, 2021. Retrieved from : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0039525-21#Text>
11. On approval of the Concept for the development and technical modernization of the centralized alert system for threats or emergencies: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated January 31, 2018, No. 43-p. Retrieved from : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/43-2018-p>
12. On approval of the Instruction on the interaction procedure between the State Emergency Service of Ukraine, the National Police of Ukraine, and the National Guard of Ukraine in the

- field of emergency prevention and response, fires, and hazardous events: Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine dated August 22, 2016, No. 859. Registered by the Ministry of Justice of Ukraine on September 14, 2016, under No. 1254/29384. Retrieved from : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1254-16#Text>
13. On the Armed Forces of Ukraine: Law of Ukraine dated December 6, 1991, No. 1934-XII. Retrieved from : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1934-12#Text>
14. On the Security Service of Ukraine: Law of Ukraine dated March 25, 1992, No. 2229-XII. Retrieved from : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2229-12#Text>
15. On the National Police: Law of Ukraine dated July 2, 2015, No. 580-VIII. Retrieved from : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/580-19#Text>
16. On the National Guard of Ukraine: Law of Ukraine dated March 13, 2014, No. 876-VII. Retrieved from : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/876-18#Text>
17. On approval of the Regulation on the State Emergency Service of Ukraine: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated December 16, 2015, No. 1052. Retrieved from : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1052-2015-n#Text>
18. On critical infrastructure: Law of Ukraine dated November 16, 2021, No. 1882-IX. Retrieved from : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#top>
19. On approval of the model regulation on the regional and local commissions on technogenic and environmental safety and emergencies: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated June 17, 2015, No. 409. Retrieved from : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/409-2015-n>